

# 地中レーダによる路面下の空洞探査について

吉澤 幸佑

関東地方整備局 関東技術事務所 施工調査・技術活用課 (〒270-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1) .

関東地方整備局管内における路面下の空洞探査は、2011年度より関東技術事務所にて一括契約している。探査結果から得られた空洞情報については各国道管理担当事務所に報告され、道路陥没を未然に防止するための維持管理に必要となる情報として用いられており、その後の空洞補修は各国道管理担当事務所で実施されている。

本報告では、空洞探査の概要と空洞探査の流れ、空洞探査精度向上のため取り組むべき内容について報告する。

キーワード 路面下空洞探査, 電磁波, 比誘電率, 地中レーダデータ

## 1. はじめに

1980年頃、首都圏で道路陥没が多発し、社会問題となった。当時、空洞探査は実施されていたが、その方法が手押し式の地中レーダによるもので、効率よく広範囲に調査できる方法ではなかった。そこで、空洞探査を車で走りながら行える道路調査車が開発された。

また、当初事務所単位で空洞探査業務を発注していたが、空洞探査により得られた管内全域の情報を一括管理・蓄積することで、より効率的に今後の空洞探査に活用することができるよう、2011年度から関東地方整備局管内の空洞探査業務を関東技術事務所で一括して発注している。

## 2. 空洞探査の概要

### (1) 空洞の主な発生原因

図-1に空洞の主な発生原因を示す。

#### a) 埋設管の老朽化に伴う損傷

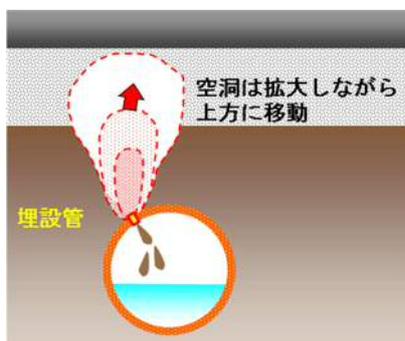
埋設管が破損した場合、破損箇所から土砂が吸い出され、空洞が形成される。空洞上の土砂は落下し、落下した土砂が再度吸い出されることで、空洞の位置は拡大しながら上方へ移動する。

#### b) 地下構造物の埋め戻し土のゆるみ

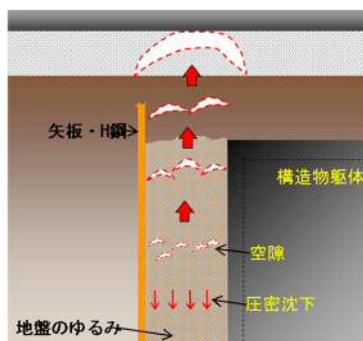
構造物躯体まわりの締固めが不十分なために地盤にゆるみが発生した場合、圧密沈下を起こし空隙ができる。そして、空隙同士結合し規模を拡大していくことで空洞が形成される。

#### c) 水みちの存在

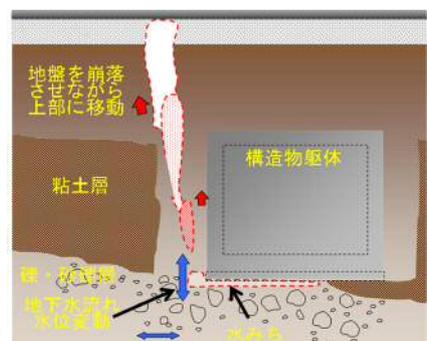
構造物躯体まわりに水みちが存在していた場合、水み



a) 埋設管の老朽化に伴う損傷



b) 地下構造物の埋め戻し土のゆるみ



c) 水みちの存在

図-1 空洞の主な発生原因

ちにより土砂が吸い出されることで空洞が形成される。

## (2) 探査原理

空洞探査は、電磁波による舗装材料と空洞の比誘電率の違いを利用した探査方法である。電磁波は、比誘電率の違う物質との境界層で反射・透過する性質を持ち「比誘電率が高い物質から低い物質」、「比誘電率が低い物質から高い物質」では図-2のように反射波の位相が逆になる。空気は、舗装材料や埋設物に比べて比誘電率が低いため、層の境界等による反射波と空気との反射波では位相に違いが出る。よって反射波を受信していくことで空洞の可能性が高い異常信号を抽出することができる。

本探査における地中レーダデータは、反射波の受信を道路調査車の走行方向に連続的に実施し白黒の濃淡で可視化することで、図-3のように目視により空洞と異物の可能性のある異常信号を抽出することができる。比誘電率が高い物質から低い物質での反射波を正極性（空洞と考えられる信号）とし白→黒で表記、比誘電率が低い物質から高い物質での反射波を負極性（異物と考えられる信号）とし黒→白で表記した。

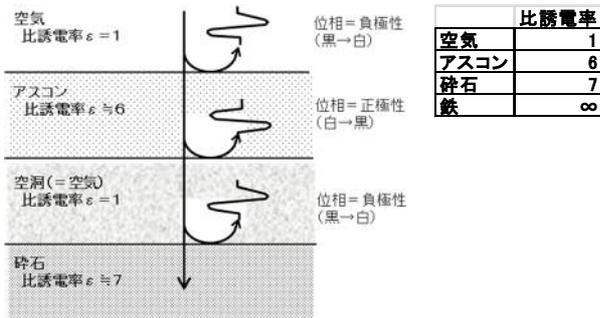


図-2 比誘電率による反射波の違い

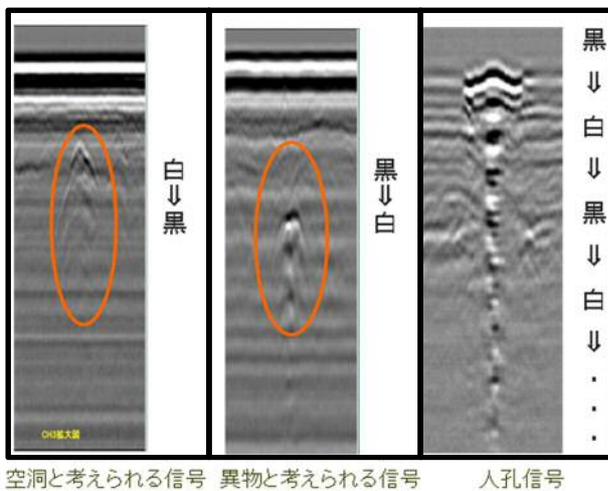


図-3 反射波の白黒での可視化

## 3. 空洞探査の流れ

空洞探査は、一次調査と二次調査から構成され図-4に示す作業フローに則って実施される。

### (1) 一次調査

車道部の一次調査は、道路調査車を使用し時速30～45kmで走行しながら迅速かつ広範囲に実施する。図-5に示すように道路調査車には、横断方向に7つの地中レーダを搭載しており、1回の走行により1車線分の探査を

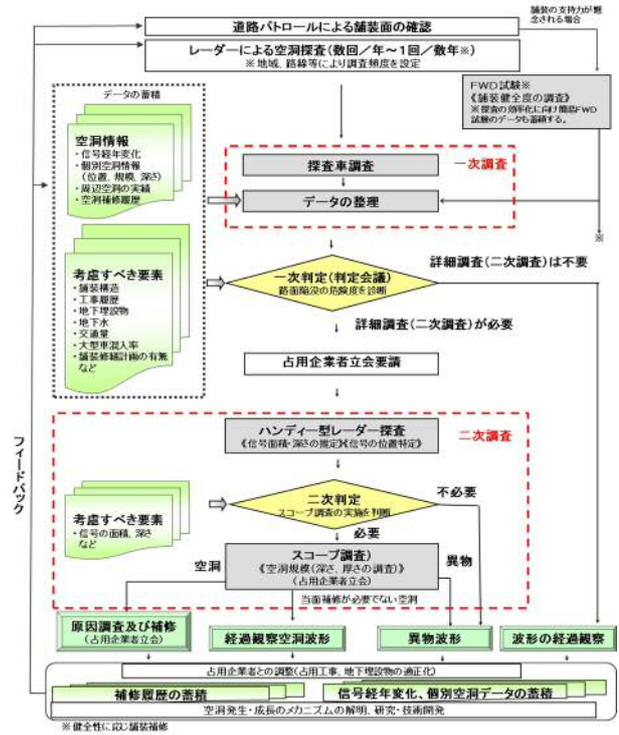


図-4 路面地下の管理(陥没防止策) 作業フロー<sup>1)</sup>

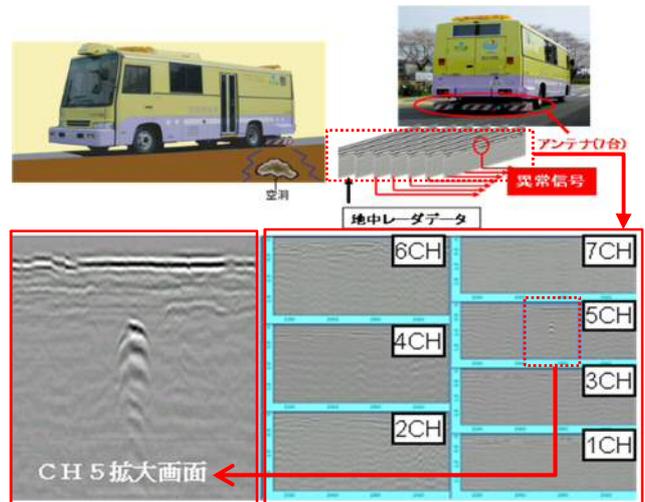


図-5 道路調査車

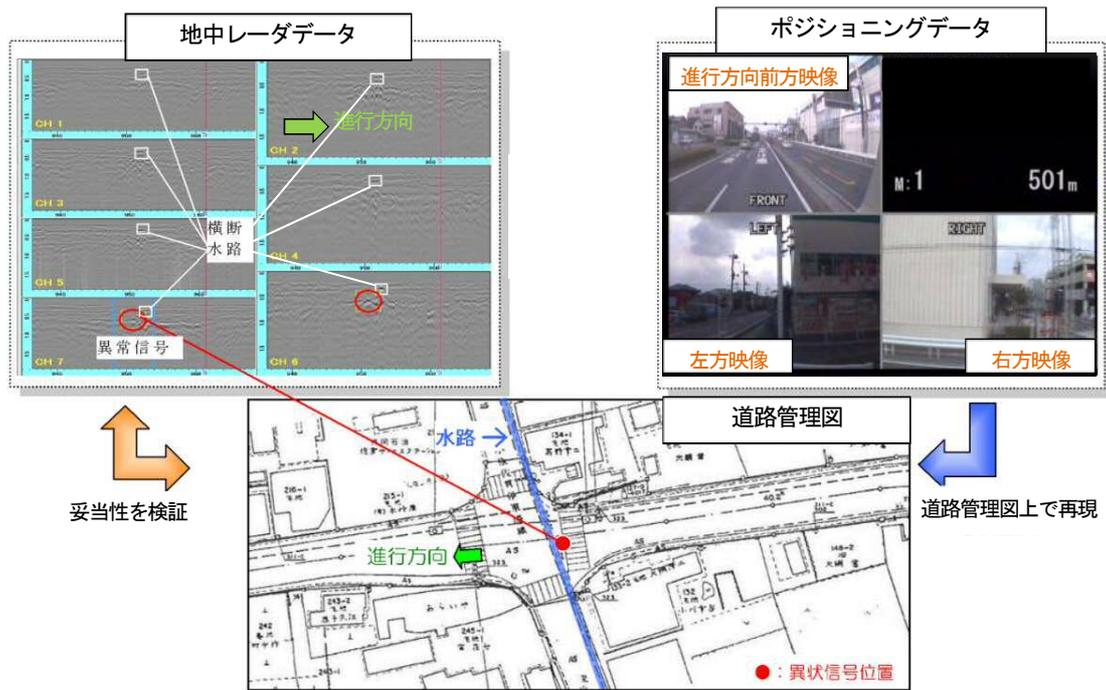


図-6 空洞位置の特定方法

実施することができる。そして、取得された地中レーダデータから空洞の可能性のある異常信号を抽出・整理する。

地中レーダデータと現地との整合については、地中レーダデータと連動した周囲映像（ポジショニングデータ）を取得することで図-6に示すように地中レーダデータ、ポジショニングデータから空洞位置を道路管理図上で確認する。

## (2) 判定会議

一次調査により抽出された異常信号は、特徴別に分類・整理し、外部の専門家を含めた判定会議により二次調査の必要性が審議される。二次調査の必要性は、「個別空洞情報（極性、独立性、経年変化、規模、深さ）」、「空洞履歴」、「舗装構成、地下埋設物、地下水、交通量、道路・地域特性、工事履歴等」を勘案し、総合的に判定している。

## (3) 二次調査

### a) ハンディ型レーダ調査

判定会議により二次調査が必要と判定された異常信号の位置において、まずハンディ型レーダによる調査が実施される。ハンディ型レーダ調査は、手押し式の機械を用いて図-7のように地中レーダデータを取得する。ハンディ型レーダ調査は、空洞の可能性判定、空洞の位置特定、空洞の平面的な広がり推定を実施し、その結果によりスコープ調査を実施するべきか否か判断される。

### b) スコープ調査

スコープ調査では、空洞と推定された異常信号箇所を図-8のように削孔し、スコープを挿入して削孔断面の撮影を行い空洞の厚さと深度を確認する。

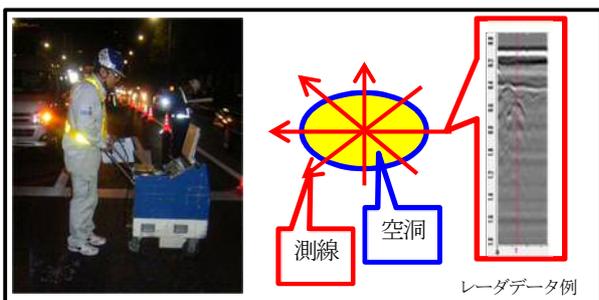


図-7 ハンディ型レーダ調査

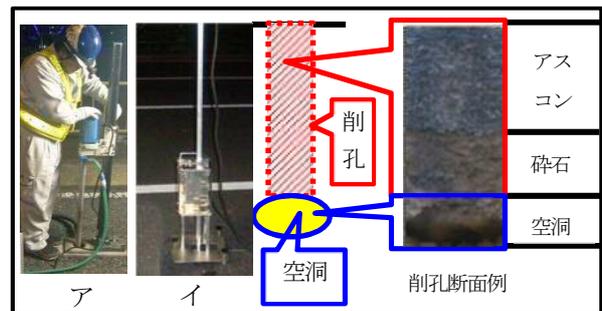


図-8 スコープ調査  
(ア：削孔、イ：スコープ挿入)

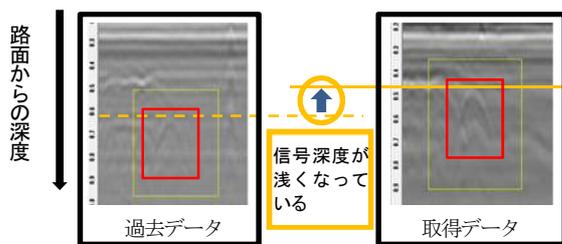


図-9 地中レーダデータの過去信号との比較  
 実線：取得データ信号深度  
 点線：過去データ信号深度

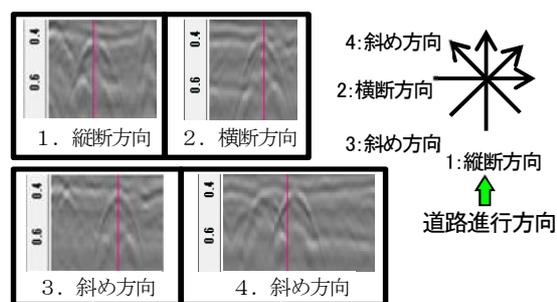


図-10 ハンディ型レーダ調査結果

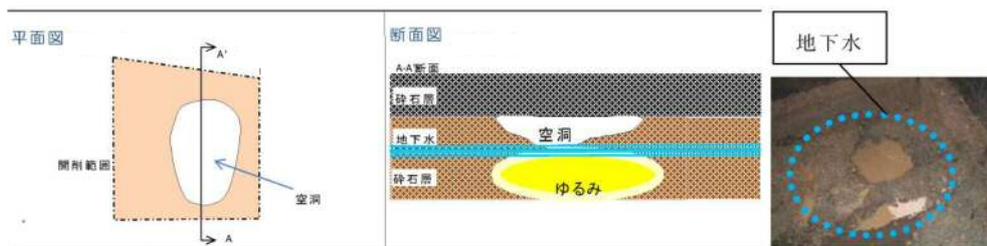


図-11 空洞発生状況

#### 4. 調査結果

空洞探査から実際に空洞が発見された事例を述べる。

##### (1) 空洞探査結果

図-9に地中レーダデータ信号のうち極性が不明瞭で空洞か異物かの判断が難しい信号例を示す。過去に取得した地中レーダデータと比較した結果、深度が浅くなっていることが確認できた。信号の深度が浅く変化している場合、経年により空洞上の土砂が落下し、空洞が上方へ移動した可能性が高いと考えられる。判定会議の結果、二次調査を実施した。

ハンディ型レーダ調査の結果、図-10に示すとおり一次調査では取得できない横断方向、斜め方向の地中レーダデータから白から始まる白黒の信号を確認することができた。調査箇所は空洞の可能性が高いと判断し、スコープ調査を実施した。

スコープ調査の結果、空洞と滞水を発見することができた。

##### (2) 開削調査結果

国道管理担当事務所により、本空洞は開削による空洞発生の原因調査と補修が行われた。図-11に示すとおり空洞下部にゆるみと地下水を確認した。空洞は、地下水の変動により徐々に空洞が形成され上方へ移動したと事例と考えられる。

なお関東技術事務所では開削調査の結果を調書として蓄積・整理し、それらを解析することにより路面陥没未然防止に役立てている。

#### 5. 空洞探査精度向上に向けた取組

新たに取得した地中レーダデータを過去に取得した地中レーダデータとの信号変化について比較することで空洞探査精度は向上することから、過去に取得した地中レーダデータと速やかに比較・検証できるよう地中レーダデータの蓄積・整理に取り組んでいる。

その他空洞探査精度向上に向けた取組として、平成26年度より道路形状が変わっても過去に実施した二次調査箇所の正確な位置が把握できるよう、二次調査実施時にGPSによる緯度経度の計測を実施することとした。

これからも空洞探査精度向上につながる新たな知見についての検討を行い、今後の空洞探査に反映させることができるよう空洞情報等の調査結果は随時蓄積・整理していきたい。

#### 6. おわりに

国道管理担当事務所には大変ご多忙の中、詳細調査の現地立会、判定会議の資料作成等ご協力いただき、心より感謝いたします。今後とも国道管理担当事務所と連携を図り路面陥没未然防止に努めていきたいと思っております。よろしくお願いいたします。

#### 参考文献

- 1) 平成23年3月 直轄国道の舗装（路面）に関する保全検討委員会 「路面地下の適切な管理のあり方について」